

ANTENNA PREAMPLIFIER FOR EMI MEASUREMENTS

Milan Sedlák

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xsedla0g@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Jiří Dřínovský

E-mail: drino@feec.vutbr.cz

Abstract: The contribution deals with the design of a low-noise amplifier with frequency band from 30 MHz to 1 GHz, usable for measuring and testing electromagnetic interferences in EMC test room. The main task of the low-noise amplifier is to improve sensitivity of the measurement chain which allows measurement of the undesired emission of high frequency signals at a very low power level.

Keywords: Low-noise amplifier, EMI, EMC

1 ÚVOD

S nástupem technologií bezdrátových komunikací (např. internet věcí) umožňující pracovat se signály o velmi nízké výkonové úrovni je kladen stále větší důraz na elektromagnetickou kompatibilitu (EMC) jednotlivých zařízení. Hlavní úkol nízkošumového předzesilovače (LNA) je zesilovat přijímané signály, zpravidla o velmi malé výkonové úrovni, s cílem zlepšit poměr signál/šum (S/N). Samotným zařazením a následně vhodným umístěním LNA do měřicího řetězce ve zkušebnách EMC tak lze dosáhnout zvýšení citlivosti měřicí soustavy.

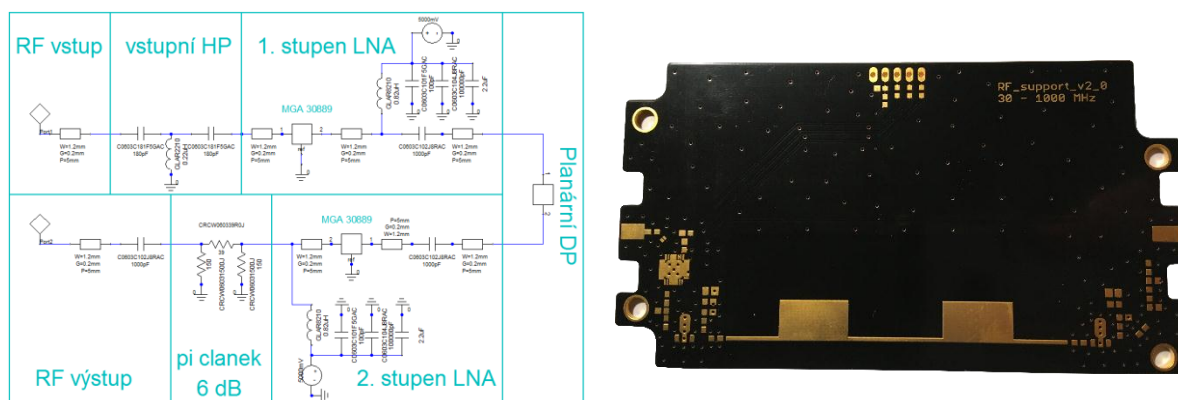
2 ANTÉNNÍ PŘEDZESILOVAČ

Při návrhu LNA je nutné brát v potaz několik základních, nicméně důležitých parametrů. Patří mezi ně především šumové číslo (NF), zisk (G), pracovní pásmo, linearita a stabilita. Při konkrétním návrhu je pak možné počítat i s dalšími parametry, kterými jsou například spotřeba celého zapojení, odolnost proti elektrostatickým výbojům (ESD), variabilita zisku atd.

Anténní předzesilovač je navržen pro frekvenční pásmo 30 MHz – 1 GHz, při zesílení $G \geq 20$ dB. Právě široké frekvenční pásmo je hlavní rozdíl, kterým se liší návrh běžné LNA od LNA pro měření elektromagnetických interferencí (EMI), protože je nutné v celém pracovním pásmu zajistit především minimální zvlnění zisku (tzv. gain flatness), minimální NF a impedanční přizpůsobení.

Navržený koncept anténního předzesilovače je zobrazený na obrázku 2.1 (vlevo). Je vidět, že anténní předzesilovač se skládá ze vstupní horní propusti (HP), prvního zesilovacího stupně, planární dolní propusti (DP), druhého zesilovacího stupně, který je zakončen útlumovým π článkem. Vstupní HP 3. řádu (butterworthova aproximace) s mezním kmitočtem $f_m = 17$ MHz slouží pro odfiltrování frekvenčních složek, které se nachází mimo zájmové frekvenční pásmo. Dále slouží pro snížení zisku anténního předzesilovače na nižších kmitočtech, díky čemuž je dosaženo menšího zvlnění zisku. První stupeň LNA je navržen s cílem dosažení co nejnižší hodnoty NF při co největším možném zisku. Fakt, že první stupeň nemá potřebné zesílení nutí zařadit do návrhu i druhý stupeň, jehož zisk se bude se ziskem prvního stupně sčítat (v logaritmické míře).

Mezi těmito stupni je zařazena planární DP 5. řádu (čebyševova aproximace) s mezním kmitočtem $f_m = 1,20$ GHz, sloužící k odfiltrování vyšších intermodulačních složek. Na výstup druhého stupně je zařazen pasivní π článek s útlumem 6 dB, zajišťující lepší přizpůsobení výstupního portu a potlačení odražené vlny. Vzhledem k faktu, že LNA má lineární zesílení jen do určité hodnoty výkonu vstupního signálu, je na vstup celého konceptu zařazen digitálně ovladatelný útlumový článek s útlumem 0 – 30 dB s krokem 0,25 dB. Tomuto článku předchází také ESD ochrana.



Obrázek 2.1: Koncept anténního předzesilovače (vlevo), DPS realizovaného prototypu (vpravo)

Celá struktura anténního předzesilovače je napájena za pomoci akumulátoru s dostatečnou kapacitou na to, aby zařízení bylo schopno pracovat alespoň 16 h (dva pracovní dny) bez nutnosti nabíjení, díky čemuž tak odpadá potřeba ve zkušební EMC komoře zajistit rozvod napájecích kabelů. Měření napětí akumulátoru, ovládání útlumového článku a ovládání dalších funkcí, pak zajišťuje pomocná deska plošných spojů (DPS).

3 REALIZACE PROTOTYPU

Cílem výroby prototypu bylo ověření požadované funkčnosti samotného návrhu. Pro vedení vysokofrekvenčního (VF) signálu byl použit koplanární vlnovod s pokoveným substrátem (CB-CPW) s využitím běžně dostupného substrátu FR4 o výšce 1,5 mm. Pro ESD ochranu je použito součástky ESD103-B1-02. Jako digitálně říditelný útlumový článek byl zvolen integrovaný obvod (IO) SKY12343-364LF. Vstupní horní propust ($f_m = 17$ MHz, Butterworthova aproximace 3. řádu) je realizována pomocí diskrétních součástek a pro zesilovací stupeň byl po porovnání s dalšími alternativami zvolen zesilovač MGA-30889. Rozměry prototypu jsou 65 x 115 mm. Vyhотовená DPS prototypu anténního předzesilovače je zobrazena na obrázku 2.1 (vpravo).

Řídící DPS bude za pomoci distančních sloupků umístěna nad DPS anténního předzesilovače a celý komplet bude umístěn do hliníkové krabičky, zajišťující odstínění od nežádoucích signálů.

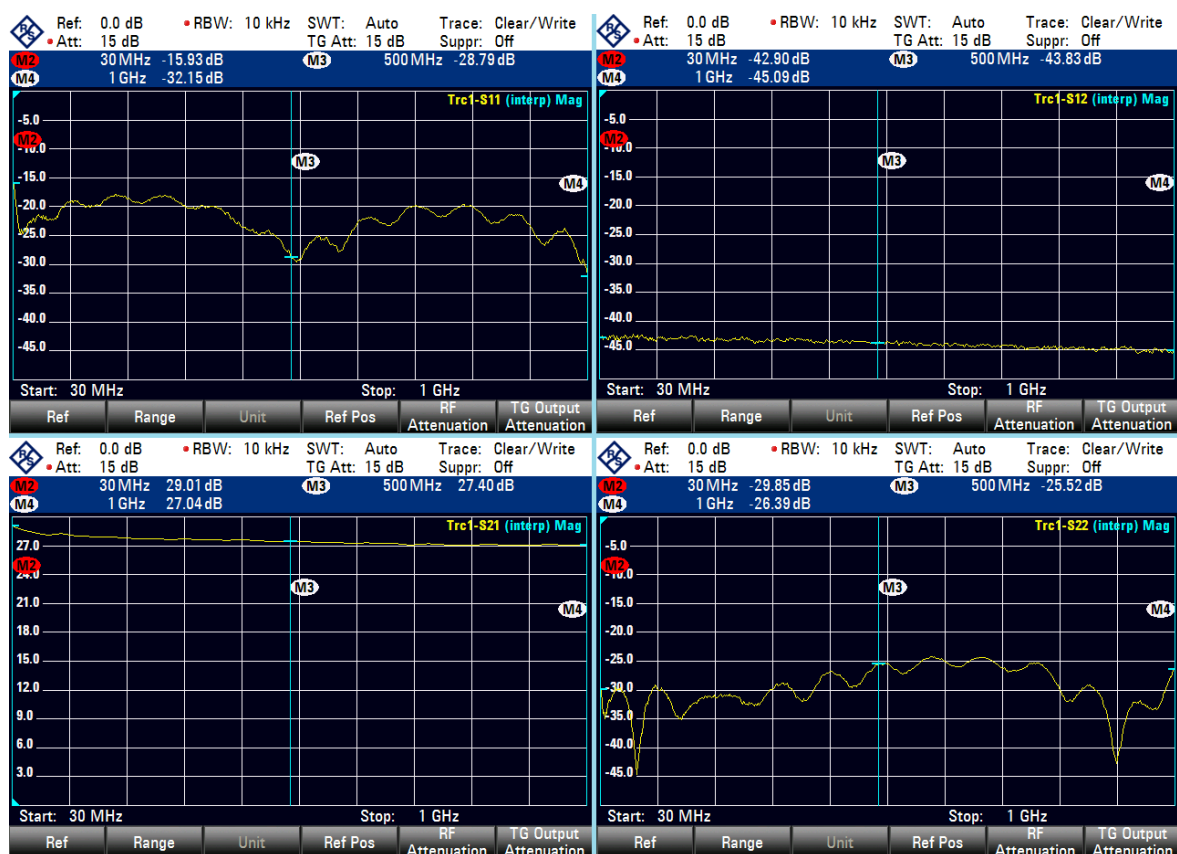
4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Pro samotný návrh a optimalizaci zapojení bylo využito studentské verze softwaru Ansoft Designer 2.0, ve kterém byl celý koncept simulován a zároveň s tím bylo pro návrh planárního filtru využito softwaru Matlab, ve kterém byl proveden jeho návrh. Tyto simulace tak zajišťují zpětnou vazbu mezi návrhem a naměřenými daty.

Naměřené S parametry kompletního prototypu (vstupní útlum nastaven na 0 dB, přičemž maximální hodnota vložného útlumu IO je 2 dB) jsou zobrazeny na obrázku 4.1. Tabulka 4.1 uvádí srovnání těchto naměřených výsledků s výsledky simulací.

Tabulka 4.1: Srovnání výsledků simulací a měření pro dílčí části návrhu

		0,03 – 1,00 GHz					
		1. zesilovací stupeň		planární filtr		celé zapojení	
		model	prototyp	model	prototyp	model	prototyp
S11	[dB]	< -11,00	< -10,00	< -20,00	< -15,00	< -16,00	< -16,00
S12		< -22,00	< -20,00	-0,50	-1,31	< -42,00	< -42,00
S21		14,66±0,28	14,60±0,64	@ 1GHz	@ 1 GHz	28,21±0,65	28,03±0,99
S22		< -25,00	< -20,00	< -20,00	< -15,00	< -19,00	< -24,00



Obrázek 4.1: Naměřené S parametry realizovaného prototypu anténního předzesilovače

Z výsledků měření je patrná shodnost naměřených dat se simulacemi. Bylo dosaženo kvalitního přizpůsobení vstupu a výstupu při $NF < 4,5$ dB (hodnota získána na základě simulací) v celém pracovním pásmu, a současně je zajištěna stabilita pro všechny vstupní a výstupní impedance (absolutně stabilní). Maximální vstupní výkon, při kterém není překročen bod jedno decibellové komprese (zesilovač není v saturaci a jeho zesílení je lineární), je -12 dBm.

Jednoduchým ověřením citlivosti bylo měření, při kterém na vstup anténního předzesilovače byl přiveden sinusový signál (CW) s kmitočtem 868 MHz a výkonovou úrovní -127 dBm. Na výstupu pak byl naměřena výkonová úroveň -99 dBm.

5 ZÁVĚR

Nutnost zpracovávat signály o velmi nízkých výkonových úrovních přináší do moderních návrhů a měřících systému nutnost zařadit blok LNA, zlepšující poměr S/N. Se zaměřením na práci ve zkušebních EMC komorách, byl navržen prototyp širokopásmového LNA (který je ovšem využitelný i v jiné aplikaci), jehož zařazení na výstup antény umožňuje díky svému zesílení $28,03 \pm 0,99$ dB zlepšení citlivosti měřicího řetězce ve frekvenčním rozsahu od 30 MHz do 1 GHz. Z důvodů nepraktičnosti rozvádění napájecích kabelů po zkušební komoře je zařízení koncipováno jako přenosné, napájené vestavěným akumulátorem, přičemž o chod nabíjení, signalizaci vybití baterie, možnost ovládání vstupního atenuátoru a jiné se stará pomocná DPS. Celé zařízení je pak umístěno ve stínící krabici.

Dalším krokem vývoje bude nasazení prototypu při experimentálním ověřování jeho účinku při měření EMI.

REFERENCE

- [1] CARR, Joseph J. *Secrets of RF circuit design. 3rd ed.* New York: McGraw-Hill, 2001, xii, 534 p. ISBN 0071370676.